

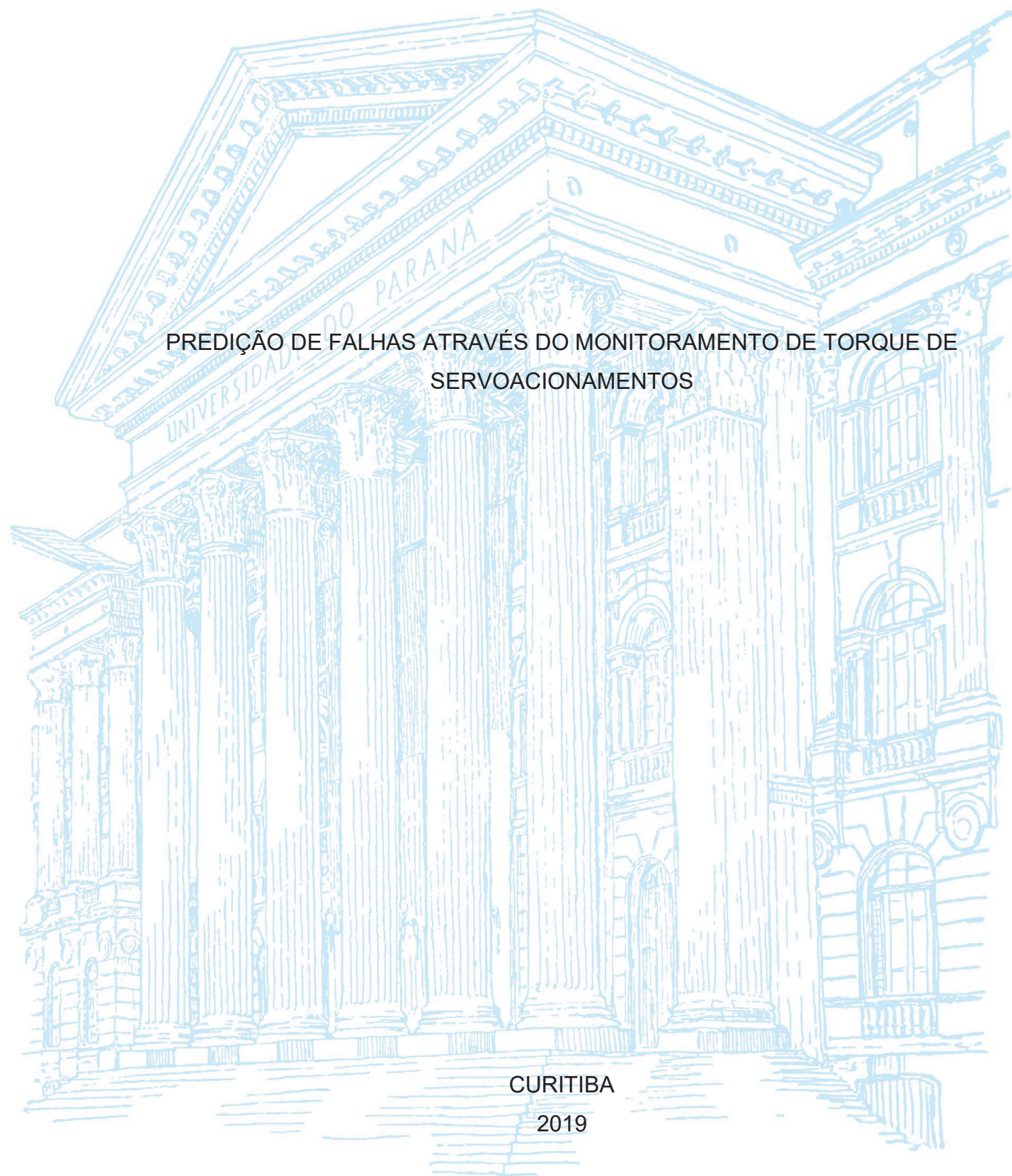
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

EMERSON SANTOS DA SILVA

PREDIÇÃO DE FALHAS ATRAVÉS DO MONITORAMENTO DE TORQUE DE  
SERVOACIONAMENTOS

CURITIBA

2019



EMERSON SANTOS DA SILVA

PREDIÇÃO DE FALHAS ATRAVÉS DO MONITORAMENTO DE TORQUE DE  
SERVOACIONAMENTOS

Monografia apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Industrial 4.0, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Indústria 4.0.

Orientador: Prof. Dr. Egon Wildauer

Coorientador: Prof. Dr. Pablo Deivid Valle

CURITIBA

2019



## PREDIÇÃO DE FALHAS ATRAVÉS DO MONITORAMENTO DE TORQUE DE SERVOACIONAMENTOS

**Emerson Santos da Silva**

Universidade Federal do Paraná, Avenida Cel. Francisco H. dos Santos, 100.

[emerssilva@hotmail.com](mailto:emerssilva@hotmail.com)

**Resumo.** Apresenta proposta de um Sistema de Predição de Falhas por relacionar a relação entre o comportamento dos dados monitorados de variáveis de Torque com a quebra de máquinas e/ou a tendência de quebra. Para promover a predição das falhas apresenta um modelo de Manutenção Preditiva Inteligente, pelo monitoramento das variáveis na ocorrência do movimento mecânico, a geração da matriz de torque de uma determinada máquina, e através de análises gráficas, com posterior inclusão de ferramentas de tecnologia da informação (algoritmos) para análises estatísticas, e determinação da tendência a quebra do equipamento.

Apresenta como resultados gráficos que podem ser definidos como padrões comportamentais do movimento estudado, com proposta de aplicação escalar do conceito de monitoramento, com utilização de tecnologia da automação e tecnologia da informação em sintonia, para geração de grande volume de dados (Big Data).

**Palavras chave:** Monitoramento. Torque. Predição, Manutenção, Tendência.

### 1. INTRODUÇÃO

O artigo se define como uma proposta de sistema de predição de falhas (quebras em componentes mecânicos de máquinas) através do monitoramento do comportamento de variáveis de Torque (%N.m) de servoacionamentos em uma máquina de montagem de pneus. A máquina estudada se caracteriza pelo grande número de eixos, que por sua vez são controlados por servomotores, por intermédio da automação disponível na própria máquina, através de lógica de programação será desenvolvido uma rotina de monitoramento e gravação de variáveis de torque, em seu pico máximo, durante a ocorrência dos movimentos mais críticos da máquina. Para esta rotina, os dados monitorados serão salvos de forma a gerar um banco de dados, para posterior análise e definição da matriz de torque ideal da máquina. Através da matriz de torque, será proposta uma sistemática para análise de tendência de quebras e/ou predição da falha através da detecção do aumento ou redução progressiva do torque durante a geração dos movimentos.

### 2. METODOLOGIA

Para o monitoramento das variáveis, é proposta a coleta de dados a partir de uma rotina de programação, no âmbito da automação industrial, a qual se propõe em capturar o valor do torque (%N.m) de motores controlados por servoacionamentos. Durante a operação da máquina de montagem de pneus, os dados de torque de servomotores são monitorados e coletados através de interface de programação, movimentos sequenciais são gerados pela máquina durante a fabricação do produto, e para cada movimento são salvos os dados de forma a gerar o banco de dados para análise posterior.

A análise do banco de dados gerado é realizada de forma a interpretar e estabelecer um comportamento tido como normal a respeito do valor de torque necessário para a geração do movimento estudado. Uma vez definido o valor de torque normal, é possível estabelecer a curva normal do movimento, e, através de análises de tendência, a proposta é de prever a quebra do equipamento, ou seja, atuar no formato de manutenção preditiva.



## 2.1. Apresentação da Demanda e Detalhes do Sistema

O avanço das tecnologias que equipam máquinas e processos industriais traz consigo benefícios de alto desempenho e alto número de produtividade. Este cenário demanda também de equipe técnica altamente capacitada para atuar em equipamentos de forma a garantir seu pleno funcionamento, com trabalhos de manutenção e otimização.

Internamente ao time de engenharia, é rotina de equipes técnicas a realização de manutenção nos âmbitos de prevenção e correção de falhas, porém, é demandado nas grandes organizações um novo modelo de manutenção, com ações embasadas em dados, inteligência, informação, conteúdo que auxilia na tomada de decisão.

Embora se trate de um tema e conceito já disponível desde a década de 70, a proposta do modelo de Manutenção Preditiva é minimamente utilizada nas indústrias ainda nos dias atuais. Avaliando o alto custo de manutenção por paradas de máquinas e troca de componentes ocasionados por falhas e quebras inesperadas, foi proposto o primeiro projeto piloto no âmbito de prever quebras de máquina dentro da empresa alvo deste estudo. Uma vez que a equipe passa a trabalhar com antecedência a ocorrência da falha, é possível trabalhar com planejamento (paradas planejadas), este formato de manutenção traz benefícios diretos como redução de longas paradas de máquinas, com aumento de produtividade, uma vez que a disponibilidade da máquina aumenta, e com isto, maior lucratividade, além de redução de custos de manutenção (TROJAN; MORAIS, 2012).

A proposta por este estudo é a garantia da funcionalidade plena de servomotores, promovida pelo monitoramento do torque, gravação de dados, análise, e reconhecimento de padrões, para auxílio na tomada de decisões a equipe de manutenção do departamento de Engenharia da fábrica.

## 2.2. Apresentação da Máquina em Estudo

A abordagem se dá sob uma máquina de montagem que possui alto nível de automação, a qual possui em predominância, movimentos gerados por servoacionamentos síncronos para movimentos rápidos e precisos. Em sua totalidade, a máquina é composta por 68 servomotores e 55 motores de indução. Todos os acionamentos são controlados por controlador lógico programável (CLP) do fabricante japonês Yaskawa Electric.

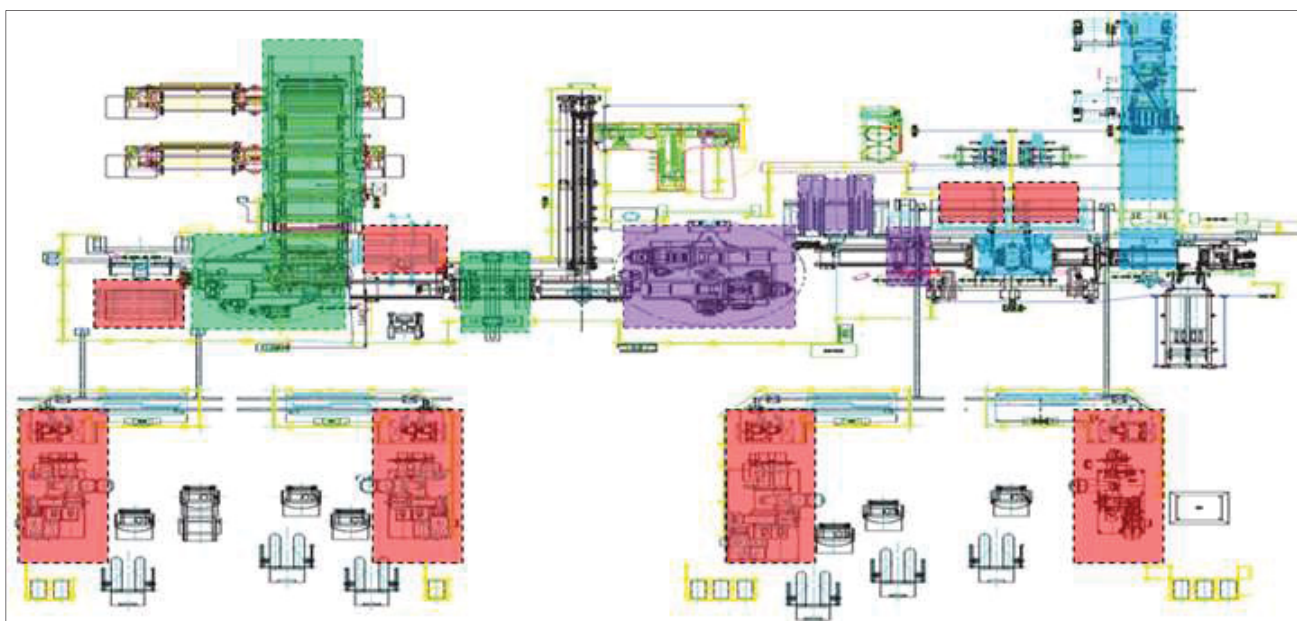


Figura 1. Layout da Máquina estudada – Separação Setorial da Máquina. (O Autor, 2019)

O Layout apresentado na Fig. 1 representa a máquina estudada, subdividida em seus principais setores, definidos de forma didática pelas cores: Verde, azul, roxo e vermelho que por sua vez podem ser referenciados as nomenclaturas oficiais: Setor 1, setor 2, setor 3 e setor 4 respectivamente. Para cada setor pré-definido pelas cores e suas nomenclaturas, são pontuados os eixos de maior criticidade, do ponto de vista de manutenção (histórico de ocorrência de falhas) e processos (impacto na produtividade em caso de parada não programada).

Ainda que, se tratando de uma máquina com grande volume de atuações por automação, para efeito de estudo, será abordado em caráter inicial um único motor para estudo do seu movimento, na tentativa de entender seu comportamento unitário na máquina.

### 2.3. Especificação Técnica e Características do Sistema

A máquina estudada tem por conceito características como: Velocidade, precisão e robustez de forma a garantir a qualidade do produto produzido. Desta forma, por especificação, a máquina é provida de sistemas de servoacionamentos – sistema composto por servodrives e servomotores, os quais garantem a precisão do movimento em escalas de até 0,001mm.

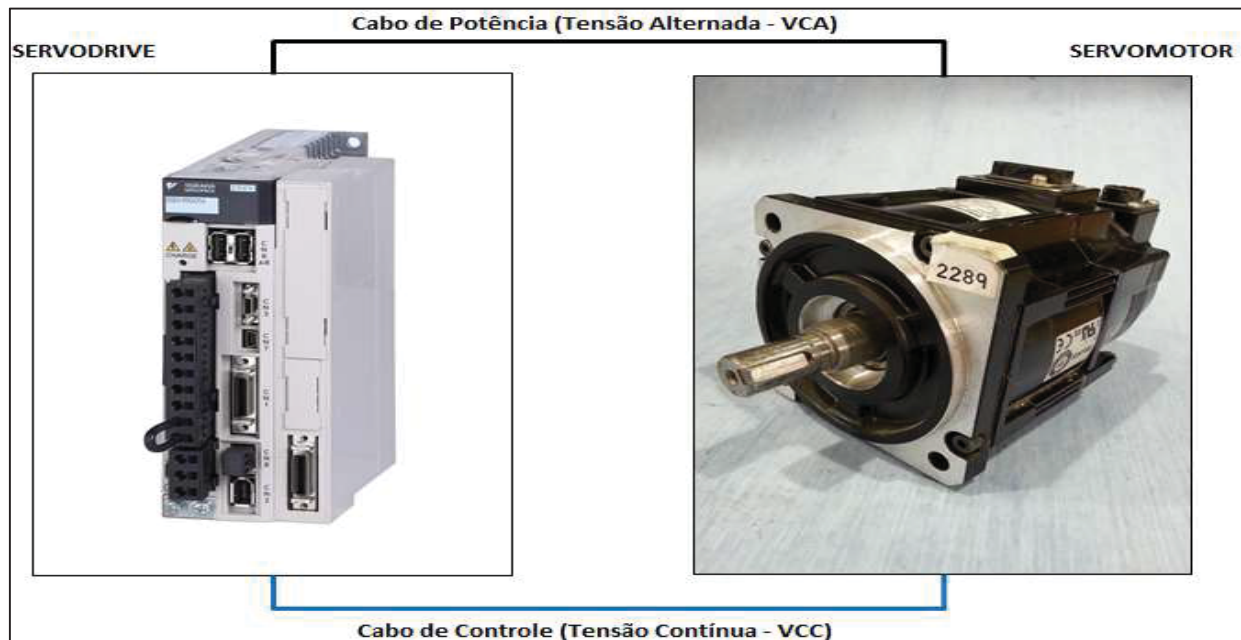


Figura 2. Exemplo de Servoacionamento - (Servodrive + Servomotor). (O Autor, 2019)

Os Servodrives são componentes eletrônicos que controlam circuitos de eletrônica de potência para movimentar motores elétricos. Por sua vez, servomotores são motores síncronos de elevada precisão em seu movimento graças a dispositivo interno de posicionamento denominado encoder (o qual tem seu sinal de feedback enviado através do cabo de Controle), fechando assim a malha de controle no circuito de servoacionamento.

Para efeito de estudo e validação do conceito proposto, será abordado um único eixo da máquina, o qual possui as seguintes características técnicas: Movimento linear bidirecional sob guias lineares, com atuação por sistema de servoacionamento, transferência de movimento por correia dentada e fuso de esferas helicoidal com precisão de usinagem de 0,01mm.

A Figura 3. ilustra os componentes do movimento estudado:

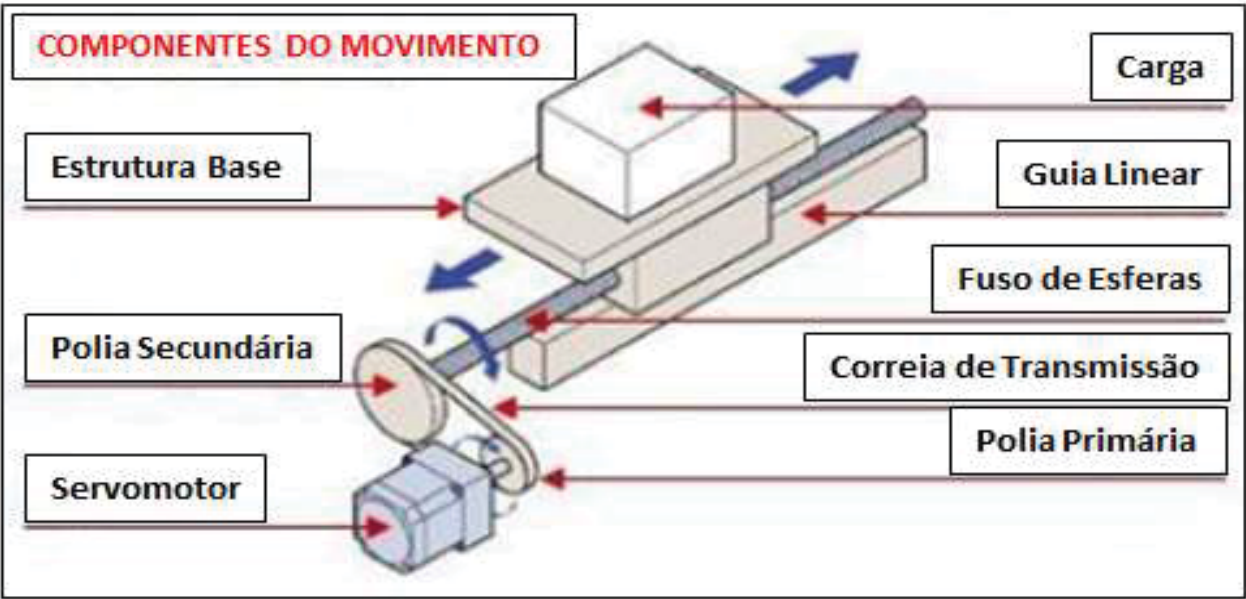


Figura 3. Componentes do Movimento. (O Autor, 2019)



Figura 4. Exemplo de Fuso de Esferas utilizado nos movimentos de máquinas estudado. (O Autor, 2019)

As informações abaixo, especificam o servomotor, a variável chave abordada é o de Torque (N.m), que passa a ser a referência inicial para a análise de seu comportamento durante o movimento do eixo.

Tag do Motor	Código Referência	Torque Nominal [N.m]	Potência Nominal [kW]	Rotação Nominal [RPM]
ESV-M1	SGMGV-44ADA61	28,4	4,4	1500

Tabela 1. Especificação Técnica do Motor. (O Autor, 2019)

Além dos dados apresentados, é importante ressaltar que, de acordo com o momento de inércia da carga que o motor movimenta (que pode ser resumido como a força contrária a força que gera o movimento, ou seja, a força necessária para tirar o equipamento da inércia), faz se necessário habilitar parâmetros do servo acionamento, de forma a possibilitar a elevação do Torque ao nível de até 150% o valor do Torque Nominal, sendo assim, tem-se a seguinte condição:

Torque Máximo Permissível = 1,5 x Torque Nominal

Torque Máximo Permissível = 1,5 x 28,4 [N.m]

Torque Máximo Permissível = **42,6 N.**

Ainda que seja considerada parametrização do servodrive de forma a possibilitar a geração do movimento com até 150% do valor nominal de Torque (42,6 N.m, conforme cálculo acima), é importante ressaltar que Servo motores são robustos suficientes para suportar até mesmo valores de 250% do seu torque nominal (para o modelo estudado, equivale a 71,1 N.m), esta característica pode ser verificada no próprio manual do fabricante, conforme Fig. 5 abaixo:

SGMGV / SGDVB

Classe 200 e 400V

Características Principais

Torque (N.m)	Torque Máx. (N.m)	Rot (rpm)	Rot Máx (rpm)	Pot (kW)	Classe de Tensão	Servo Motor SGMGV-	SERVOPACK***	Cabo de Potência	Cabo de Freio**	Cabo de Encoder com bateria ****	Cabo de Encoder sem bateria ****
1,96	5,88	1500	3000	0,3	200V	03A□A□□	SGDV-3R8A	JZSP-CVM21-##-E	JZSP-CVM41-##-E (Cabo de Potência + Freio)	JZSP-CVP07-△△-E (Encoder Absoluto)	JZSP-CVP02-△△-E (Encoder Incremental)
					400V	03D□A□□	SGDV-1R9D				
2,86	8,92			0,45	200V	05A□A□□	SGDV-3R8A				
					400V	05D□A□□	SGDV-1R9D				
5,39	13,8			0,85	200V	09A□A□□	SGDV-7R6A	B1EV-△△-(A)-E			
					400V	09D□A□□	SGDV-3R5D				
8,34	23,3			1,3	200V	13A□A□□	SGDV-120A				
					400V	13D□A□□	SGDV-5R4D				
11,5	28,7			1,8	200V	20A□A□□	SGDV-180A	B2EV-△△-(A)-E			
					400V	20D□A□□	SGDV-8R4D	B1EV-△△-(A)-E			
18,6	45,1			2,9	200V	30A□A□□	SGDV-330A	B4EV-△△-(A)-E			
					400V	30D□A□□	SGDV-120D	B3EV-△△-(A)-E			
28,4	71,1			4,4	200V	44A□A□□	SGDV-330A	B4EV-△△-(A)-E			
					400V	44D□A□□	SGDV-170D	B3EV-△△-(A)-E			
35	87,6	2000	4000	5,5	200V	55A□A□□	SGDV-470A+JZSP-RA04-E	B6EV-△△-(A)-E			
					400V	55D□A□□	SGDV-210D+JZSP-RA04-E	B5EV-△△-(A)-E			
48	119			7,5	200V	75A□A□□	SGDV-550A+JZSP-RA05-E	B6EV-△△-(A)-E			
					400V	75D□A□□	SGDV-260D+JZSP-RA05-E	B5EV-△△-(A)-E			
70	175			11	200V	11A□A□□	SGDV-590A+JZSP-RA05-E	B7EV-△△-(A)-E			
					400V	11D□A□□	SGDV-280D+JZSP-RA05-E	B6EV-△△-(A)-E			
95,4	224			15	200V	15A□A□□	SGDV-780A+JZSP-RA05-E	B7EV-△△-(A)-E			
					400V	15D□A□□	SGDV-370D+JZSP-RA05-E	B6EV-△△-(A)-E			

Figura 5. Especificação Técnica de Servoacionamentos. (Manual do fabricante Yaskawa Electric, 2019)

## 2.4. Monitoramento e Captura de Dados (Tecnologia de Automação – TA)

Através de ferramenta de automação industrial, fazendo uso de programação por controlador lógico programável (CLP) e utilizando linguagem no formato Ladder, é desenvolvida rotina de programação, de forma a avaliar o comportamento das variáveis de torque (%N.m) durante a ocorrência de movimentos de máquina, desta forma, é possível salvar em áreas de memórias o valor máximo (pico de torque) para cada eixo monitorado, assim como salvar também várias amostras com frequência pré definida do comportamento da oscilação do Torque durante toda ocorrência do movimento.

A figura 6 ilustra o software MPE720 que é a plataforma de interface com o controlador lógico programável da máquina modelo MP2200 Yaskawa Electric. É através deste que são acessadas memórias, desenvolvidas programações e extraem-se os dados monitorados.



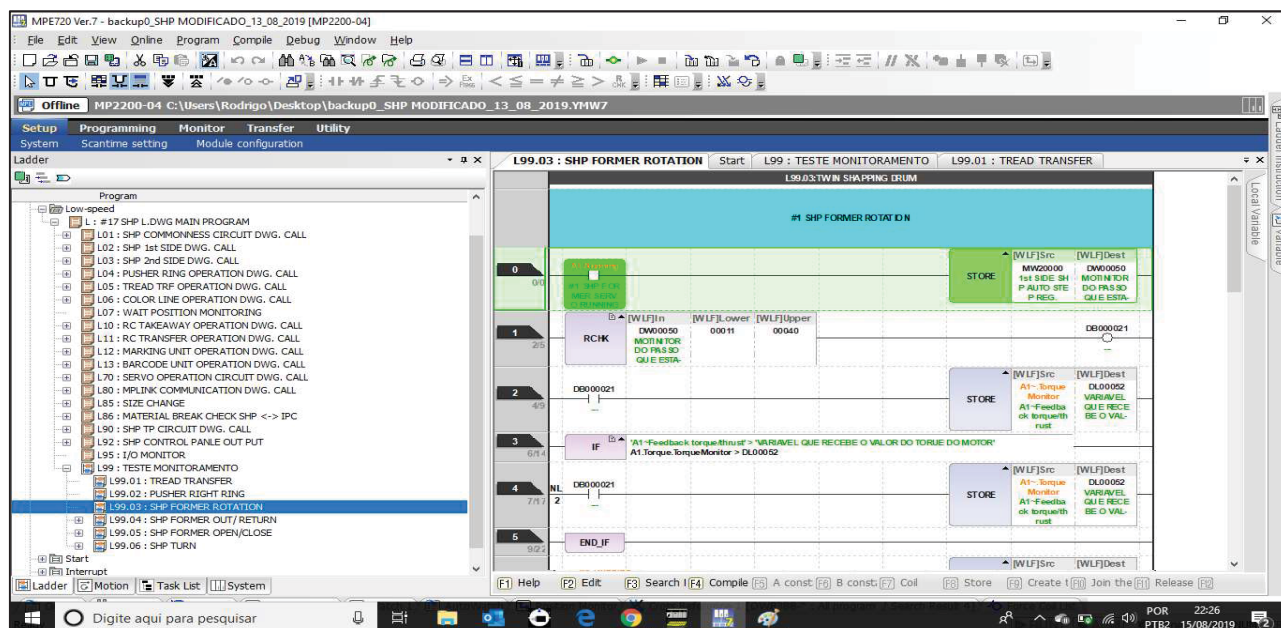


Figura 6. Ferramenta MPE720 - Yaskawa (Interface de programação). (O Autor, 2019)

A rotina de programação definida visa o salvamento das informações do torque gerado durante a ocorrência do movimento, o fluxograma abaixo resume de forma didática a dinâmica de funcionamento do programa.

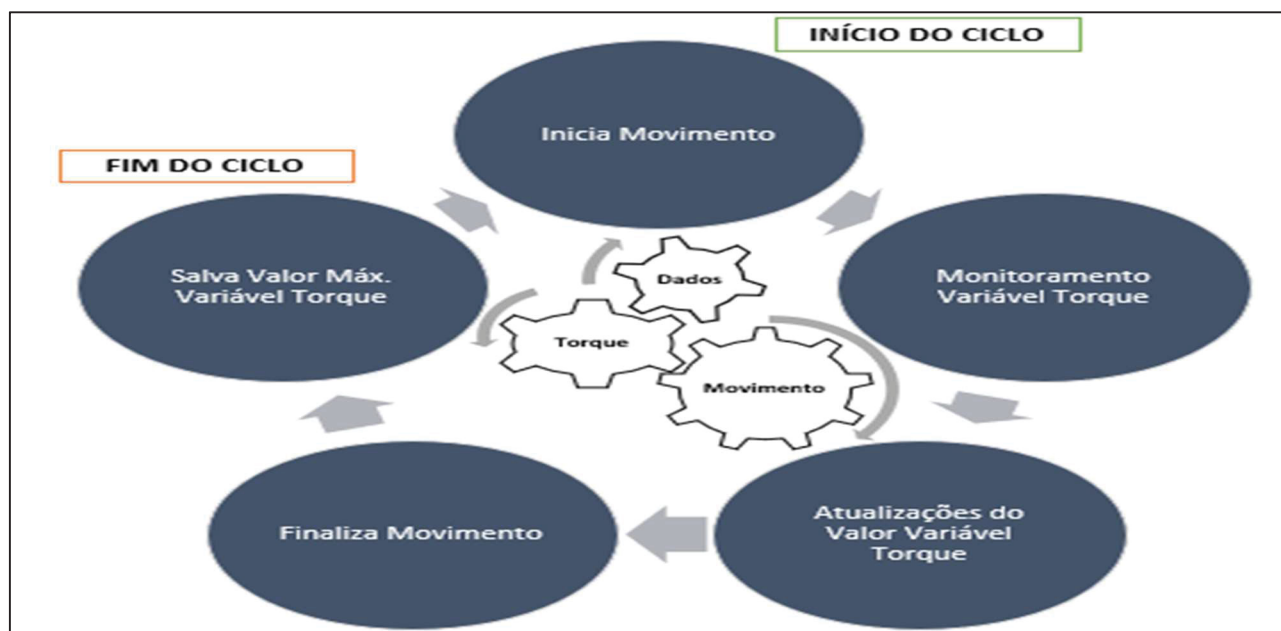


Figura 7. Fluxo do Processo de Monitoramento de Torque. (O Autor, 2019)

### 2.3. Estratificação dos dados monitorados

A estratificação dos dados monitorados se dá inicialmente de forma manual e diária, a partir do software de programação MPE720 do fabricante Yaskawa Electric, através da ferramenta, é possível selecionar qual motor a ser monitorado, a seleção da frequência de atualização da informação do torque do motor (100ms mínimo), assim como o LOG dos eventos. É também realizado o setup da captura do comportamento da variável de torque apenas durante o momento de interesse (ocorrência do movimento).

Uma vez que os dados são salvos na ferramenta MPE720, é possível exportar os dados em formato de planilha de dados (arquivo xlsx – Excel).



## 2.4. Análise de Dados e Verificação da Curva de Torque - (Transformação do Dado em Informação Útil) - Estudo Gráfico 1

Através do monitoramento diário da variável de torque de servomotores, são gerados banco de dados, que servem de conteúdo para análises e entendimento do comportamento dos motores durante a geração do trabalho, ou seja, durante seu movimento.

A análise dos dados traz consigo valores de torque para a ocorrência de determinado movimento que segue um padrão (Curva do Movimento), uma vez que a máquina se encontra em condições mecânicas estáveis, produzindo um mesmo produto e livre de interferências externas. Desta forma, é possível definir o padrão no comportamento do movimento.

A seguir, são apresentados gráficos da curva de torque do motor monitorado, o qual possui a seguinte especificação:

- Potência do Servo Motor: 4,4kW;
- Tensão do Servo Motor: 220VCA;
- Torque Nominal do Servo Motor: 28,4 N.m;
- Torque Máximo do Servo Motor: 71,1 N.m.

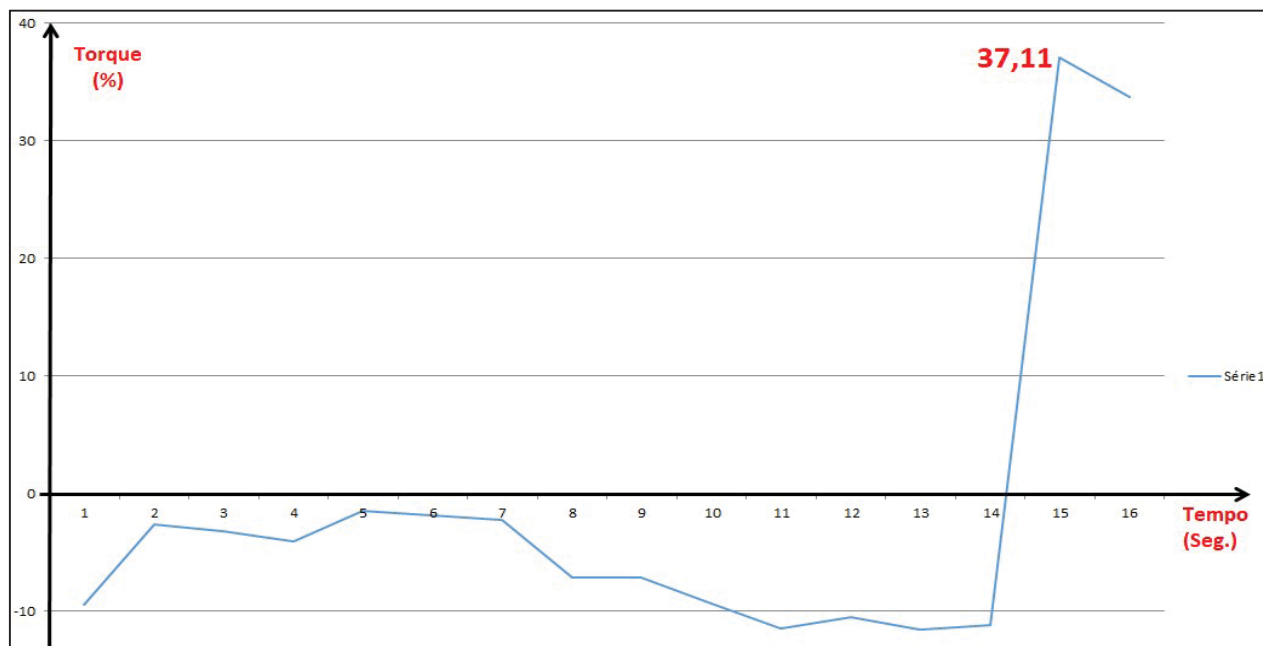


Figura 8. Curva de Torque – Monitoramento 1 - Movimento 1 – Motor A. (O Autor, 2019)

A figura 8 representa a amostra nº 1, do movimento 1 de determinado motor, o qual alcança em seu pico máximo o valor de 37,1% do seu torque nominal (28,4N.m). Sendo assim, o motor atinge em seu movimento o pico máximo de 10,539 N.m.

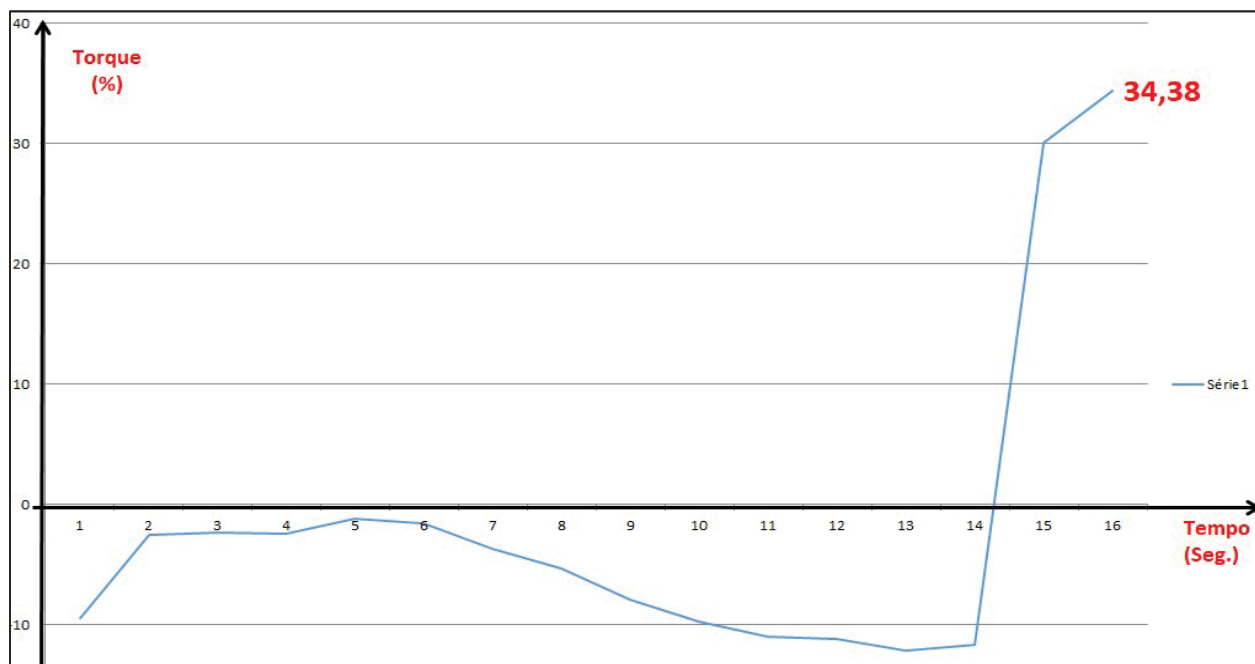


Figura 9. Curva de Torque – Monitoramento 2 – Movimento 1 – Motor A. (O Autor, 2019)

A figura 9 que representa a amostra nº 2, do movimento 1 do mesmo motor estudado, o qual alcança em seu pico máximo o valor de 34,38% do seu torque nominal (28,4N.m). Sendo assim, o motor atinge em seu movimento o pico máximo de 9,764 N.m.

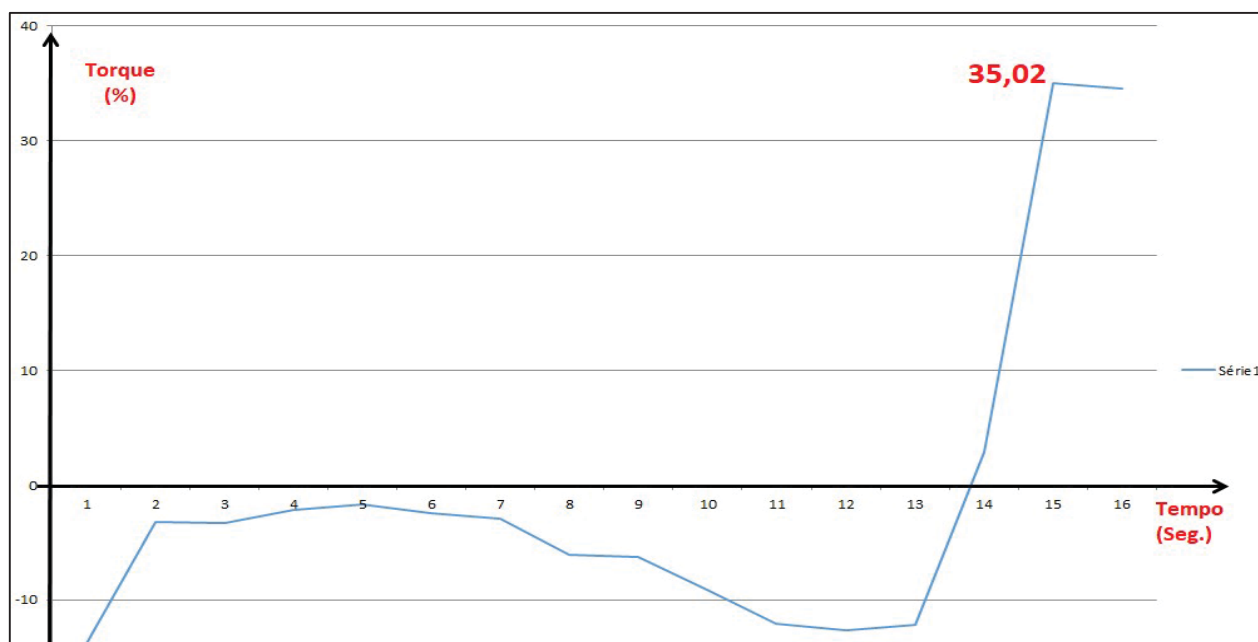


Figura 10. Curva de Torque – Monitoramento 3 – Movimento 1 – Motor A. (O Autor, 2019)

A figura 10 por sua vez, representa a amostra nº 3, do movimento 1 do mesmo motor estudado, o qual alcança em seu pico máximo o valor de 35,02% do seu torque nominal (28,4N.m). Sendo assim, o motor atinge em seu movimento o pico máximo de 9,946 N.m.

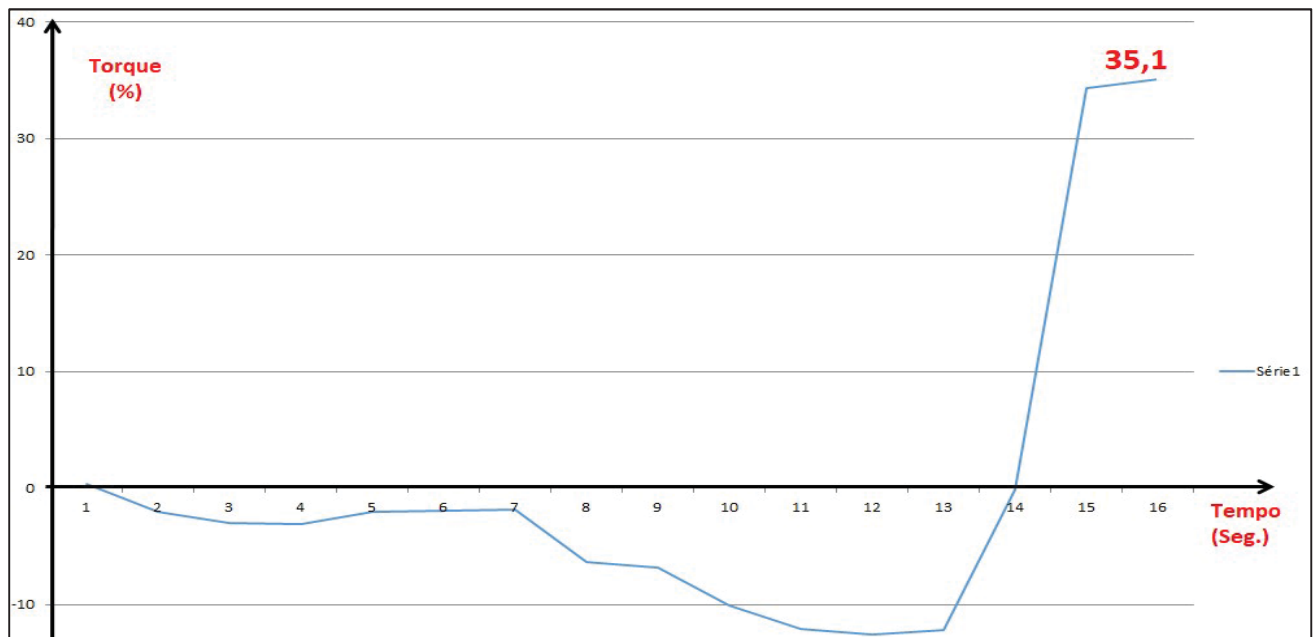


Figura 11. Curva de Torque – Monitoramento 4 – Movimento 4 – Motor A. (O Autor, 2019)

A figura 11 por fim, representa a amostra nº 4, do movimento 1 do motor estudado, o qual alcança em seu pico máximo o valor de 35,1% do seu torque nominal (28,4N.m). Sendo assim, o motor atinge em seu movimento o pico máximo de 9,968 N.m.

Em resumo, as amostras apontadas do movimento estudado, apresentam os seguintes valores máximos de Torque para a geração do mesmo movimento:

- Amostra 1: 10,539 N.m;
- Amostra 2: 9,764 N.m;
- Amostra 3: 9,946 N.m;
- Amostra 4: 9,968 N.m.

## 2.5. Análise de Dados e Verificação da Curva de Torque - (Transformação do Dado em Informação Útil) - Estudo Gráfico 2

Quando estudados graficamente, uma possível abordagem de análise passa a ser através da amortização dos valores que geram o gráfico, possibilitando análises com curvaturas mais suaves, e auxiliando nas definições de ranges de aceitação da variação, conforme Fig. 12:



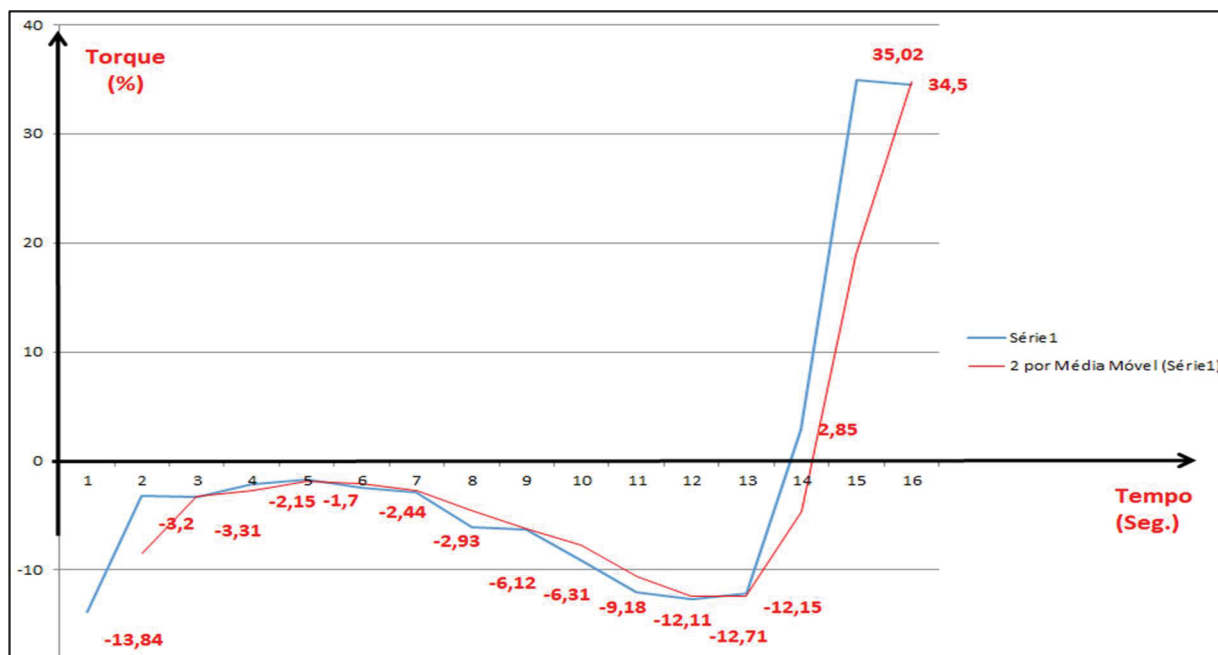


Figura 12. Curva de Torque – Valores Amortizados - Médio. (O Autor, 2019)

Outra abordagem é a proposta de atuação através da Curva de Tendência do movimento. Como premissa principal, esta abordagem necessariamente se dará somente após a definição da curva de torque padrão do movimento. Podemos definir como curva de torque padrão ou ainda curva de torque ideal, o comportamento gráfico da variável torque após a coleta de N amostras de dados - (N por sua vez, passa a ser um número ainda a ser definido, sendo que quanto maior o número de N, maior também a confiabilidade dos dados estudados para definição do padrão do movimento).

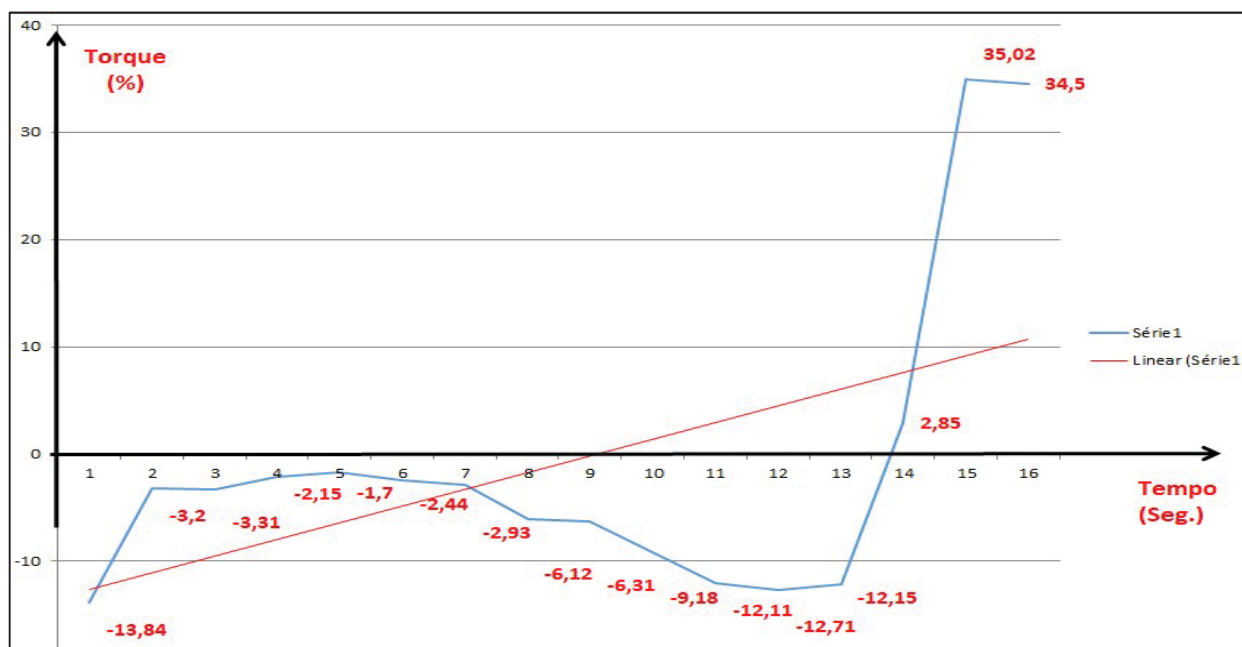


Figura 13. Curva de Torque – Curva de Tendência. (O Autor, 2019)

A Figura 13. ilustra a curva de tendência do movimento estudado, para esta proposta de estudo, o objetivo principal é de gerar um monitoramento contínuo de todos os ciclos de movimento do motor, com geração gráfica das amostras, e geração da curva de tendência, de forma a possibilitar a detecção da tendência de aumento gradativo do torque necessário para a geração do movimento. Uma vez que tem-se a evidência do aumento do torque, é possível

predizer falhas no equipamento que podem levar a futuras quebras do mesmo, permitindo assim trabalhos preventivos como: Rotas de inspeção, frequência de lubrificação, verificação de alinhamento de eixos e acoplamentos, etc.

### 3. RESULTADOS

Os resultados iniciais do projeto piloto são exemplares de que, é possível verificar a similaridade entre as curvas de torque comparando movimentos realizados por um mesmo motor, tendo a máquina condições idênticas quando realizados os movimentos e a coleta dos dados.

A variação do maior valor para o menor valor de pico máximo do torque (Amplitude), de 0,775 N.m corresponde a uma parcela mínima de variação que pode e será estudada como parâmetro inicial de aceitação para modos de falha.

A análise gráfica mostra fiel repetibilidade da curva de torque do movimento, sendo esta a premissa principal para continuidade de estudos no âmbito da manutenção preditiva da máquina através do monitoramento de dados de torque.

### 4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados, tem-se a conclusão de que é extremamente importante a realização do monitoramento para um controle a respeito das condições de máquinas. O monitoramento de variáveis que traduzem a condição do equipamento traz consigo a possibilidade de atuação de forma preditiva, onde as equipes de Engenharia podem se antecipar e prever a quebra do equipamento, isto através de análise das variáveis monitoradas.

Com a geração de dados, e, ao utilizar o sistema de forma escalar, onde o monitoramento passa a ser de uma infinidade de eixos de máquinas e processos completos, torna-se imprescindíveis desenvolvimentos conjuntos entre Tecnologia da Automação - TA e Tecnologia da Informação - TI, para um completo sistema de Monitoramento, transmissão, salvamento e disponibilização dos dados (Big Data). Além disso, considerando que a geração do banco de dados é apenas um primeiro passo para o objetivo maior, que depende da análise dos dados capturados, são requeridas ferramentas de Machine Learning (Algoritmos de TI) que passam a fazer um papel fundamental na avaliação dos dados, interpretação e auxílio na tomada de decisões.

### 5. PRÓXIMOS PASSOS

Como próximos passos do projeto, será determinado o monitoramento de variáveis e geração de dados em grande volume – Big Data, onde será demandado monitoramento de maior número de motores e com isso, maior quantidade de dados. Para tornar possível a geração do Big Data, é proposta a interligação da máquina por meio de uma nova infraestrutura de rede, a qual utiliza o meio físico Ethernet interligando um novo Controlador Lógico Programável (CLP), o qual passará a ser dedicado para o projeto de monitoramento dos processos, capaz de gerar a interface entre TA e TI, ou seja, um link entre máquinas e banco de dados.

#### 5.1. Geração, envio, salvamento e gerenciamento de dados (Tecnologia da Informação – TI)

Através de desenvolvimentos que alinham as Tecnologias de Automação (TA) e Tecnologias de Informação (TI), é proposta a conexão de máquinas através de redes em meio físico Ethernet, fazendo uso de protocolos tais como (Modbus TCP, Ethernet IP e MQTT e OPC UA).

Com determinações Mestre/Escravo entre os controladores da rede, são coletados dados referentes aos movimentos a serem monitorados, e de acordo com os motores definidos como críticos. Uma vez coletados os dados de torque dos motores, os quais são verificados durante a ocorrência de cada movimento, a este valor, é atribuído valor do código de barras do produto gerado pela máquina, durante os movimentos monitorados. Desta forma, é criada uma base de dados que resume o comportamento da máquina, ou seja, a condição da máquina na qual foi gerado o produto por esta produzido.

Ao controlador de interface TA-TI, é gerada rotina de captura de dados, geração de banco de dados em formato SQL e envio do banco de dados para servidores externos de TI, que por sua vez passa a estruturar os dados para coleta e análise remota através de plataformas disponíveis em computadores específicos.

O propósito de inserção de inteligência artificial (AI) para análise dos dados traz a demanda de envio dos dados monitorados a partir de servidores locais da empresa para servidores externos chamados servidores em nuvem (CLOUD).

#### 5.2. Topologia de Rede para Escalabilidade de Sistemas - (Tecnologia da Informação – TI)

Na Figura 14. é possível verificar a Topologia de Rede definida, na qual o projeto piloto é representado pelo controlador lógico programável PFC200 do fabricante WAGO, controlador este que tem por função coletar os dados de máquinas e processos, inclusive os dados de torque propostos por esse trabalho, e em seguida, após a geração de banco

de dados intermediário, envia para a estrutura de TI através de rotina de envios de dados, pacotes de dados em protocolo definido (ex: MQTT), os quais serão salvos diretamente em servidores locais e em estrutura de CLOUD.

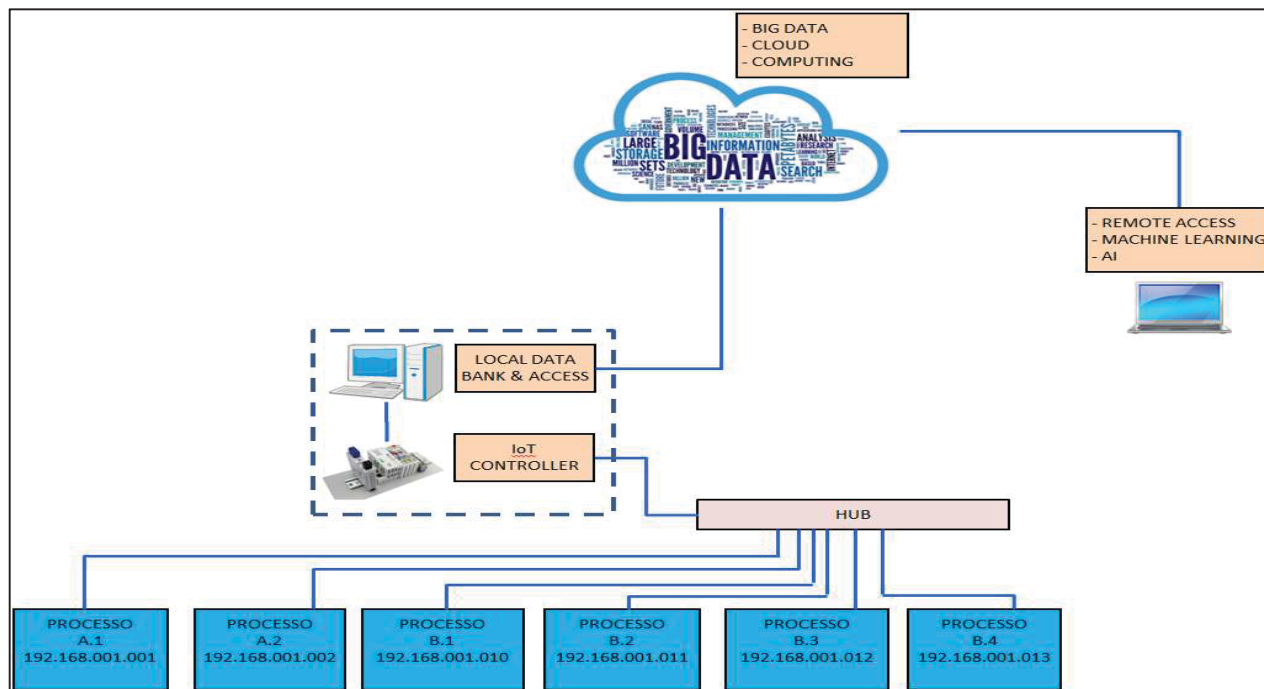


Figura 14. Topologia de Rede IIoT – Industrial Internet of Things . (O Autor, 2019)

Os desenvolvimentos futuros se tornam necessários no contexto de escalabilidade do sistema, trazendo a proposta de monitoramento de vários processos da fábrica conforme Fig. 14, a topologia de rede apresentada então passa a considerar a conexão para monitoramento de 6 processos completos (processo A.1, processo A.2, processo B1, processo B2, processo B.3 e processo B.4).

Além disso, é proposta a interconexão entre os dados monitorados de cada processo, uma vez que, ao se tratar de uma sequência de processos para a fabricação do produto final, o subproduto de cada processo intermediário gera influência sobre o próximo, portanto, são consideradas análises de reflexos e impactos entre eles, com coleta e análise de dados com abordagens de manutenção, qualidade, desempenho, consumos energéticos, etc.

## 6. REFERÊNCIAS

Manutenção em Foco

<https://www.manutencaoemfoco.com.br/manutencao-preditiva/>

Microsoft Azure Platform

[https://azure.microsoft.com/pt-br/free/search/?&ef\\_id=Cj0KCQjw84XtBRDWARIsAAU1aM14kz87b1UI6g74Zv\\_SauX0PwCzUEsrFI2qmh9KvvG\\_2CT5lkgfB7saAmUZEALw\\_wcB:G:s&OCID=AID2000058\\_SEM\\_6DHA75OH&MarinID=6DHA75OH\\_324631040057\\_azure\\_e\\_c\\_63148341293\\_kwd-49508422&lnkd=Google\\_Azure\\_Brand&dclid=CjgKEAiw84XtBRDWlt\\_ep53r4WkSJADyy77j\\_VhZsXKKWVZzEz-kXGQVPiCKFXpRpuNX\\_76oWZXGyFD\\_BwE](https://azure.microsoft.com/pt-br/free/search/?&ef_id=Cj0KCQjw84XtBRDWARIsAAU1aM14kz87b1UI6g74Zv_SauX0PwCzUEsrFI2qmh9KvvG_2CT5lkgfB7saAmUZEALw_wcB:G:s&OCID=AID2000058_SEM_6DHA75OH&MarinID=6DHA75OH_324631040057_azure_e_c_63148341293_kwd-49508422&lnkd=Google_Azure_Brand&dclid=CjgKEAiw84XtBRDWlt_ep53r4WkSJADyy77j_VhZsXKKWVZzEz-kXGQVPiCKFXpRpuNX_76oWZXGyFD_BwE)

TROJAN, J., 2012. *Modelos multicritério para apoiar decisões na gestão da Manutenção de redes de distribuição de água para a redução de custos e perdas.*

2012. 217 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco.2012

Yaskawa Electric, Manual - SGMGV

<https://www.yaskawa.com.br/wp-content/uploads/2013/08/Manual-SGMGV.pdf>



## **7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES**

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.